

На основі проведених досліджень розроблено статистичні моделі тривалості машинного доїння на доїльних установках з прохідними станками. Ці моделі встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості доїння установок та параметрами доїльних установок, типом доїльного апарату, статистичними характеристиками процесу доїння, кількістю тварин у стаді. Теоретичні результати підтверджено результатами експериментальних досліджень

Ключові слова: тривалість доїння, тривалість підготовки, статистична модель, доїльна установка, прохідний станок

На основе проведенных исследований разработаны статистические модели длительности машинного доения на доильных установках с проходными станками. Эти модели устанавливают функциональную связь между статистическими характеристиками длительности доения установок и параметрами доильных установок, типом доильного аппарата, статистическими характеристиками процесса доения, количеством животных в стаде. Теоретические результаты подтверждены результатами экспериментальных исследований

Ключевые слова: длительность доения, длительность подготовки, статистическая модель, доильная установка, проходной станок

УДК 681.586

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28013

РОЗРОБКА СТАТИСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТРИВАЛОСТІ ДОЇННЯ НА ДОЇЛЬНИХ УСТАНОВКАХ З ПРОХІДНИМИ СТАНКАМИ

В. Ю. Кучерук

Доктор технічних наук, професор*

E-mail: kucheruk@mail.ru

Є. А. Паламарчук

Кандидат технічних наук, професор

Кафедра економічної кібернетики

Вінницький національний аграрний університет

вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, Україна, 21008

E-mail: evgen.pal@gmail.com

П. І. Кулаков

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: kulakovpi@gmail.com

*Кафедра метрології та промислової автоматики

Вінницький національний технічний університет

вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, Україна, 21021

1. Вступ

При безприв'язному утриманні тварин на молочних фермах реалізується принцип «тварина керує харчуванням, людина керує доїнням». Доїння тварин при такому способі утримання здійснюється у спеціалізованих доїльних залах за допомогою доїльних установок, які обладнані стаціонарними доїльними станками.

Сучасні тваринницькі ферми не можуть ефективно функціонувати без систем автоматичного управління технологічним процесом, до складу яких входять інформаційно-вимірювальні системи параметрів технологічного процесу та інформаційно-вимірювальні системи зоотехнічних параметрів тварин. В сучасних умовах, актуальним завданням для господарств з застарілим обладнанням є його модернізація шляхом впровадження вищевказаних систем. Проектування нових та модернізація існуючих доїльних установок, особливо це стосується доїльних залів, потребує високоточного визначення їх продуктивності, що на практиці реалізувати важко. Виробники доїльного обладнання часто не наводять чисельного значення найважливішого параметру установок – продуктивності, або наводять його з невисокою точністю [1, 2].

Основним параметром, необхідним для визначення продуктивності установки, є тривалість машинного доїння. Невисока точність визначення продуктивності установки в першу чергу зумовлена недосконалістю існуючих статистичних моделей тривалості машинного доїння. Продуктивність доїльної установки та тривалість машинного доїння також в значній мірі впливають на структуру та характеристики інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока та інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних параметрів тварин.

Виходячи з цього, подальше вдосконалення статистичних моделей тривалості машинного доїння різних доїльних установок є актуальним та важливим завданням. Проведені дослідження відносяться до теорії та практики проектування, модернізації і автоматизації доїльних установок та тваринницьких ферм.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

У теперішній час, в світовому тваринництві, при безприв'язному утриманні тварин у доїльних залах та майданчиках використовують прохідні доїльні установки, до яких відноситься «Тандем» та установка з па-

паралельно-прохідними станками, групові доїльні установки «Паралель» та «Ялинка», конвеєрна установка «Карусель» [1–4]. Доїльна установка з паралельно-прохідними станками та установка «Тандем» обладнані доїльними станками, які забезпечують індивідуальний вхід та вихід кожної тварини. У вищевказаних установках тварини розташовані вздовж траншеї, в якій знаходиться дояр. Таке розташування тварин забезпечує практично вільний доступ персоналу до будь-якої її зони. Це дає можливість, окрім видоювання, проводити медичні, санітарні, та інші необхідні зоотехнічні операції. Тривалість доїння у доїльному залі залежить від типу доїльної установки, зоотехнічних параметрів тварин у стаді, їх кількості, селекційної підібраності, тривалості підготовки тварини до доїння та тривалості доїння, типу доїльних апаратів, кількості доїльних станків, конструкції проходів. У роботах [1, 3, 4] розглянуто процес підготовки тварин до доїння на різних доїльних установках і пропонується його тривалість вважати постійною. Тривалість підготовки тварини є випадковою величиною, яка залежить від ряду факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру, тому такий підхід не є досконалим. Інтервал часу, за який здійснюється видоювання тварини, є випадковою величиною, який залежить від зоотехнічних параметрів тварин та типу доїльного апарату [1]. У роботах [5–7] в якості статистичної моделі часового інтервалу тривалості доїння використовується нормальний закон розподілу. Нормальний закон розподілу не відображає характерну особливість часового інтервалу тривалості доїння, а саме те, що його тривалість не може бути меншою за певну величину або дорівнювати нулю. У роботі [1] пропонується вважати тривалість видоювання тварини випадковою величиною розподіленою за логнормальним законом. Але у цьому випадку не враховується час мінімальної роботи доїльного апарату, який має детерміноване значення, і не враховується можливість доїння сухостійних тварин. Окрім того, згідно роботи [8], закон розподілу часу видоювання тварини наближається до логнормального, якщо тварини розподілені на велику кількість груп у відповідності до стадії їх лактаційного періоду, що на практиці не виконується. У роботі [8] також наведено результати експериментальних досліджень часу підготовки тварини до доїння та часу видоювання тварини при різних типах доїльних апаратів. У цій роботі визначено, що часовий інтервал технологічного процесу підготовки тварин до доїння має хі-квадрат розподіл, а часовий інтервал тривалості доїння при використанні доїльних апаратів без функції управління доїнням та часовий інтервал керованого доїння при використанні доїльних апаратів з функцією керування доїнням має гамма-розподіл. У роботі [9] проведено аналіз роботи конвеєрної доїльної установки «Карусель» на основі результатів, наведених у [1, 3, 4]. На основі результатів, наведених у [8], у роботі [10] створено статистичну модель тривалості машинного доїння стійлової доїльної установки, а у роботі [11, 12] – статистичну модель тривалості машинного доїння групових доїльних установок «Ялинка» та «Паралель».

Відомі в теперішній час статистичні моделі тривалості машинного доїння доїльних установок для залів та майданчиків, які використовуються при безприв'язному утриманні тварин, не забезпечують достатню

точність визначення їх продуктивності і потребують подальшого вдосконалення [1, 2, 4]. Внаслідок цього, існує необхідність створення нових статистичних моделей тривалості машинного доїння, які з більшою адекватністю встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості доїння та типом доїльної установки, кількістю доїльних станків, типом та алгоритмом роботи доїльного апарату, кількістю тварин. Результатом впровадження таких моделей буде підвищення точності визначення продуктивності доїльних установок при їх проектуванні або модернізації. Окрім того, створення таких моделей дозволить розробити методику проектування інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока, інформаційно-вимірювальних систем зоотехнічних параметрів тварин та систем автоматичного управління фермою при безприв'язному утриманні тварин.

3. Цілі та задачі дослідження

Ціллю дослідження є створення уточнених статистичних моделей, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками та доїльної установки «Тандем» з статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарату. Моделі необхідно створити на основі експериментальних результатів дослідження статистичних характеристик тривалості доїння та підготовки тварини на основі результатів, отриманих у [8].

Завданням дослідження є аналіз циклограм роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками та доїльної установки «Тандем», встановлення функціонального зв'язку між статистичними характеристиками тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками та доїльної установки «Тандем» з статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарату. Результати проведених теоретичних досліджень необхідно підтвердити експериментальними даними для встановлення ступеню їх адекватності.

4. Розробка статистичних моделей тривалості машинного доїння на доїльних установках з прохідними станками

4.1. Розробка статистичних моделей тривалості машинного доїння на доїльних установках з паралельно-прохідними станками

Розглянемо циклограму роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками, яку наведено на рис. 1.

На доїльній установці з паралельно-прохідними станками кожний дояр обслуговує два доїльних станка, які знаходяться по обидві сторони його робочої зони. В станки тварини входять протягом часу t_{Ini} , піс-

ля чого дояр готує першу тварину до доїння протягом часу t_{p1} , вдягає їй доїльний апарат і переходить до роботи з іншою твариною. Доїння тварини відбувається протягом часу t_{TD1} , після чого вона виходить з станка протягом часу t_{OUT1} , а на її місце входить наступна тварина. Позначимо через K загальну кількість тварин в стаді, а через N_D – кількість робочих місць дояра. Тоді максимальна кількість тварин K_V , доїння яких здійснюється одним дояром, при умові, що потоки тварин рівномірно розподілені між робочими місцями, визначається виразом

$$K_V = \begin{cases} K/N_D, \{K/N_D\} = 0, \\ 1 + [K/N_D], \{K/N_D\} \neq 0. \end{cases} \quad (1)$$

Внаслідок того, що усі дояри працюють паралельно, тривалість роботи доїльної установки буде дорівнювати тривалості роботи одного дояра при видоюванні K_V тварин.

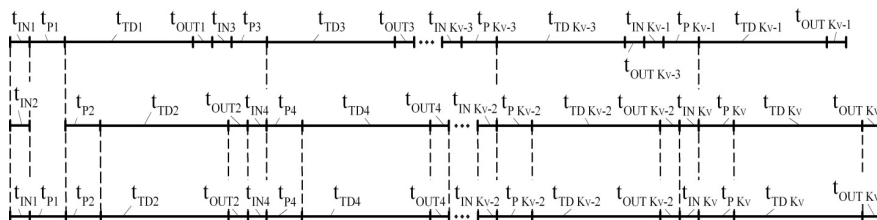


Рис. 1. Циклограма роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками

Як впливає з аналізу наведеної на рис. 1 циклограми, при парній кількості тварин K_V , що обслуговуються одним дояром, тривалість роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками, визначається виразом

$$T_{PPU} = t_{IN1} + t_{p1} + t_{p2} + t_{D2} + t_{OUT2} + \sum_{i=4}^{K_V} (t_{INi} + t_{pi} + t_{Di} + t_{OUTi}), i = 4, 6, 8, \dots, K_V. \quad (2)$$

При непарній кількості тварин K_V тривалість роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками, визначається виразом

$$T_{PPU} = \sum_{i=1}^{K_V} (t_{INi} + t_{pi} + t_{Di} + t_{OUTi}), i = 1, 3, 5, \dots, K_V. \quad (3)$$

Визначимо математичне очікування та дисперсію тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками. Математичне очікування M_{IN} та дисперсія D_{IN} часу входження тварини в доїльний станок та математичне очікування M_{OUT} та дисперсія D_{OUT} часу виходу тварини з доїльного станка розглянуті у [3]. Дані характеристики залежать від типу доїльної установки, способу входу тварин, способу виходу тварин, конструкції проходів та конструкції вхідних і вихідних воріт.

Математичне очікування M_{PD} часу t_{p1} тривалості підготовки тварини та дисперсія цього часу D_{PD} визначаються виразами [8]

$$M_{PD} = \int_0^{+\infty} \frac{t^{\frac{k}{2}} e^{-\frac{t}{2}}}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma(k/2)} dt = k, \quad (4)$$

$$D_{PD} = \int_0^{+\infty} \frac{(t-k)^2 t^{\frac{k}{2}-1} e^{-\frac{t}{2}}}{2^{\frac{k}{2}} \Gamma(k/2)} dt = 2k, \quad (5)$$

де t – час; k – параметр хі-квадрат розподілу; $\Gamma(z)$ – гамма-функція Ейлера.

Математичне очікування M_{TD} часу t_{TDi} тривалості доїння та дисперсія цього часу D_{TD} визначаються виразами [8]

$$M_{TD} = \int_0^{+\infty} \frac{t^{l+1} e^{-\frac{t}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)} dt = m(l+1), \quad (6)$$

$$D_{TD} = \int_0^{+\infty} \frac{(t-m(l+1))^2 t^l e^{-\frac{t}{m}}}{m^{l+1} \Gamma(l+1)} dt = m^2(l+1), \quad (7)$$

де l , m – параметри гамма-розподілу.

Змінивши в виразах (2) та (3) значення часових інтервалів на їх математичні очікування та провівши перетворення отримуємо вираз, який визначає математичне очікування M_{PPU} тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками

$$M_{PPU} = \begin{cases} K_V (M_{IN} + M_{OUT} + M_{TD}) / 2 + (K_V / 2 + 1) M_{PD}, \{K_V / 2\} = 0, \\ K_V (M_{IN} + M_{PD} + M_{OUT} + M_{TD}) / 2, \{K_V / 2\} \neq 0. \end{cases} \quad (8)$$

Змінивши в виразах (2) та (3) значення часових інтервалів на їх дисперсії та провівши перетворення отримуємо вираз, який визначає дисперсію D_{PPU} тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками

$$D_{PPU} = \begin{cases} K_V (D_{IN} + D_{OUT} + D_{TD}) / 2 + (K_V / 2 + 1) D_{PD}, \{K_V / 2\} = 0, \\ K_V (D_{IN} + D_{PD} + D_{OUT} + D_{TD}) / 2, \{K_V / 2\} \neq 0. \end{cases} \quad (9)$$

На доїльних установках з паралельно-прохідними станками можливе використання двох типів доїльних апаратів: з функцією керування процесом доїння та без функції керування процесом доїння. У роботі [8] встановлено, що математичне очікування тривалості доїння однієї тварини з використанням доїльних апаратів без функції керування процесом доїння визначається виразом (6), а з функцією керування процесом доїння визначається виразом

$$M_{TD} = t_s + t_{ND} + t_m + m(l+1), \quad (10)$$

де t_s – детермінований час стимуляції вимені, t_{ND} – детермінований час фази некерованого доїння, t_m – детермінований час, протягом якого здійснюється масаж вимені.

Також у роботі [8] встановлено, що дисперсія тривалості доїння однієї тварини з використанням доїльних апаратів без функції керування процесом доїння та з функцією керування процесом доїння визначається виразом (7). Підставивши (6) та (4) в (8) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$M_{PPU} = \begin{cases} K_V (M_{IN} + M_{OUT} + m(1+1))/2 + (K_V/2+1)k, \{K_V/2\} = 0, \\ K_V (M_{IN} + k + M_{OUT} + m(1+1))/2, \{K_V/2\} \neq 0. \end{cases} \quad (11)$$

Підставивши (10) та (4) в (8) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$M_{PPU} = \begin{cases} K_V (M_{IN} + M_{OUT} + t_s + t_{ND} + t_M + m(1+1))/2 + (K_V/2+1)k, \{K_V/2\} = 0, \\ K_V (M_{IN} + k + M_{OUT} + t_s + t_{ND} + t_M + m(1+1))/2, \{K_V/2\} \neq 0. \end{cases} \quad (12)$$

Підставивши (7) та (5) в (9) отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів з функцією та без функції керування процесом доїння

$$D_{PPU} = \begin{cases} K_V (D_{IN} + D_{OUT} + m^2(1+1))/2 + 2k(K_V/2+1), \{K_V/2\} = 0, \\ K_V (D_{IN} + 2k + D_{OUT} + m^2(1+1))/2, \{K_V/2\} \neq 0. \end{cases} \quad (13)$$

Таким чином, вирази (1), (11), (13) описують статистичну модель тривалості доїння стада з K тварин, яке обслуговують N_D доярів, за допомогою доїльної установки з паралельно-прохідними станками при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, а вирази (1), (12), (13) – при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння.

4. 2. Розробка статистичних моделей тривалості машинного доїння на доїльних установках «Тандем»

Доїльна установка «Тандем» [1], уявляє собою установку з стаціонарними доїльними станками, тварини в яких розташовані вздовж двох сторін траншеї, в якій знаходяться два дояра, по одному на кожну сторону. Кожний доїльний станок обладнаний вхідними та вихідними воротами, що забезпечує можливість індивідуального входу та виходу тварин. Перше входження тварин у доїльні станки здійснюється групою, кількість тварин у групі дорівнює кількості станків. Після входження дояр готує першу тварину до доїння, вдягає їй доїльний апарат та переходить до наступної тварини, потім до

третьої і т. д. Після закінчення доїння кожна тварина окремо здійснює вихід з установки і на її місце входить наступна тварина. Аналогічні дії проводяться з кожною твариною до закінчення доїння всього стада. Розглянемо циклограму роботи доїльної установки «Тандем», яку наведено на рис. 2.

Для цієї доїльної установки максимальна кількість тварин K_V , доїння яких здійснюється одним дояром, при умові, що потоки тварин рівномірно розподілені між двома доярками, визначається виразом

$$K_V = \begin{cases} \lfloor [K/2] + 1, \{K/2\} \neq 0, \\ \lfloor K/2, \{K/2\} = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Позначимо через Z_S кількість доїльних станків, які обслуговуються одним дояром. З аналізу наведеної на рис. 2 циклограми випливає, що при K_V кратному Z_S тривалість роботи установки «Тандем» визначається виразом

$$T_{TU} = t_{IN1} + \sum_{i=1}^{Z_S} t_{Pi} + t_{DZ_S} + t_{OUTZ_S} + \sum_{i=2}^{K_V/Z_S} (t_{INiZ_S} + t_{PiZ_S} + t_{DiZ_S} + t_{OUTiZ_S}). \quad (15)$$

Якщо K_V не кратне Z_S , то тривалість роботи доїльної установки «Тандем», у цьому випадку, визначається виразом

$$T_{TU} = t_{IN1} + \sum_{i=1}^{Z_S} t_{Pi} + t_{DZ_S} + t_{OUTZ_S} + \sum_{i=2}^{\lfloor K_V/Z_S \rfloor + Z_S} (t_{INiZ_S} + t_{PiZ_S} + t_{DiZ_S} + t_{OUTiZ_S}) - \sum_{i=1}^{\{K_V/Z_S\}Z_S} t_{Pi}. \quad (16)$$

Визначимо математичне очікування та дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Тандем». Тому як дояри працюють одночасно, тривалість роботи однієї сторони установки дорівнює тривалості роботи всієї установки. Змінивши в виразах (15) та (16) значення часових інтервалів на їх математичні очікування та провівши перетворення отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки «Тандем»

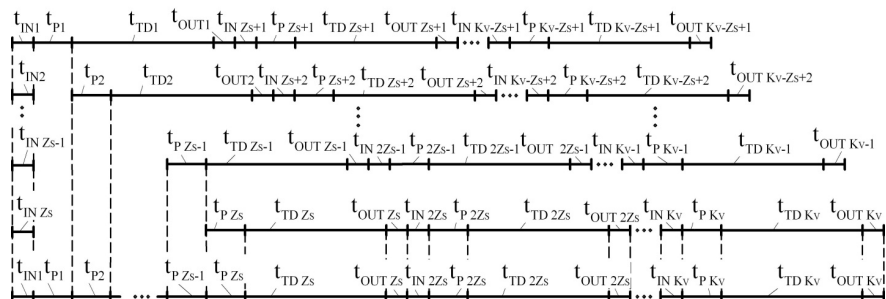


Рис. 2. Циклограма роботи доїльної установки «Тандем»

$$M_{TU} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_S} \right) (M_{IN} + M_{TD} + M_{OUT}) + \left(\frac{K_V}{Z_S} + Z_S - 1 \right) M_{PD}, \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} = 0, \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] + Z_S \right) (M_{IN} + M_{TD} + M_{OUT}) + M_{PD} \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] - 1 + Z_S \left(2 - \left[\frac{K_V}{Z_S} \right] \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (17)$$

Замінивши в виразах (15) та (16) значення часових інтервалів на їх дисперсії та провівши відповідні перетворення отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Тандем»

$$D_{TU} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_S} \right) (D_{IN} + D_{TD} + D_{OUT}) + \left(\frac{K_V}{Z_S} + Z_S - 1 \right) D_{PD}, \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} = 0, \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] + Z_S \right) (D_{IN} + D_{TD} + D_{OUT}) + D_{PD} \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] - 1 + Z_S \left(2 - \left[\frac{K_V}{Z_S} \right] \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (18)$$

Підставивши (6) та (4) в (17) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння

$$M_{TU} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_S} \right) (M_{IN} + m(1+1) + M_{OUT}) + \left(\frac{K_V}{Z_S} + Z_S - 1 \right) k, \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} = 0, \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] + Z_S \right) (M_{IN} + m(1+1) + M_{OUT}) + k \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] - 1 + Z_S \left(2 - \left[\frac{K_V}{Z_S} \right] \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (19)$$

Підставивши (10) та (4) в (17) отримуємо вираз, який визначає математичне очікування тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння

$$M_{TU} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_S} \right) (M_{IN} + t_s + t_{ND} + t_m + m(1+1) + M_{OUT}) + \left(\frac{K_V}{Z_S} + Z_S - 1 \right) k, \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} = 0, \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] + Z_S \right) (M_{IN} + t_s + t_{ND} + t_m + m(1+1) + M_{OUT}) + k \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] - 1 + Z_S \left(2 - \left[\frac{K_V}{Z_S} \right] \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (20)$$

Підставивши (7) та (5) в (18) отримуємо вираз, який визначає дисперсію тривалості роботи доїльної установки «Тандем» при використанні доїльних апаратів з функцією та без функції керування процесом доїння

$$D_{TU} = \begin{cases} \left(\frac{K_V}{Z_S} \right) (D_{IN} + m^2(1+1) + D_{OUT}) + 2k \left(\frac{K_V}{Z_S} + Z_S - 1 \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} = 0, \\ \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] + Z_S \right) (D_{IN} + m^2(1+1) + D_{OUT}) + 2k \left(\left[\frac{K_V}{Z_S} \right] - 1 + Z_S \left(2 - \left[\frac{K_V}{Z_S} \right] \right) \right), \left\{ \frac{K_V}{Z_S} \right\} \neq 0. \end{cases} \quad (21)$$

Таким чином, вирази (14), (19), (21) описують статистичну модель тривалості доїння стада з K тварин за допомогою доїльної установки «Тандем» при обслуговуванні одним дояром Z_S доїльних станків і при використанні доїльних апаратів без функції керування процесом доїння, а вирази (14), (20), (21) – при

використанні доїльних апаратів з функцією керування процесом доїння.

Закон розподілу тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками та доїльної

установки «Тандем» в усіх вищевказаних випадках можна вважати нормальним на підставі першої граничної теореми [13].

5. Апробація результатів досліджень

Експериментальні дослідження тривалості роботи доїльної установки «Тандем» проводилися у приватному фермерському господарстві в смт Красні Окни Красноокнянського району Одеської області (Україна). Досліджувана доїльна установка має структуру 2х4, тобто на ній працюють два дояри, кожний дояр обслуговує чотири доїльних станка, відповідно $Z_S = 4$. Доїльні станки обладнані блоками управління доїнням «Bigmilk» виробництва ВАР «Брацлав», які мають функцію керування процесом доїння і у яких $t_s = 15$ с, $t_{ND} = 30$ с, $t_m = 30$. Досліджуване стадо складалося з 128 тварин, статистичні характеристики тривалості роботи установки визначалися за вибіркою з 420 спостережень.

Теоретичний розрахунок M_{TU} та D_{TU} проводився на основі наступних експериментальних параметрів. В роботі [8] встановлено, що при безприв'язному утриманні $M_{PD} = 28$ с, $D_{PD} = 56$ с², а математичне очікування тривалості доїння при використанні вищевказаного доїльного апарату з функцією керування процесом доїння $M_{TD} = 326$ с, дисперсія $D_{TD} = 3801$ с². Статистичні характеристики тривалості входу та виходу тварин $M_{IN} = 24$ с, $M_{OUT} = 22$ с, $D_{IN} = 76$ с², $D_{OUT} = 70$ с² [3].

Відносна оцінка розбіжності між експериментальним та теоретичним значенням математичного очікування тривалості доїння установки визначалась за виразом

$$M_V = \frac{|M_{TUE} - M_{TU}|}{M_{TU}} \cdot 100 \% \quad (22)$$

Відносна оцінка розбіжності між експериментальним та теоретичним значенням дисперсії тривалості доїння установки визначалась за виразом

$$D_v = \frac{|D_{TUE} - D_{TU}|}{D_{TU}} \cdot 100 \% \quad (23)$$

Результати порівняння експериментальних даних та теоретичних розрахунків статистичних характеристик тривалості роботи досліджуваної доїльної установки «Тандем» наведені у табл. 1.

Таблица 1

Порівняння експериментальних даних та теоретичних розрахунків тривалості роботи доїльної установки «Тандем»

Параметр	Математичне очікування тривалості доїння	Дисперсія тривалості доїння
Експериментальне значення	$M_{TUE}=8252$ с	$D_{TUE}=71408$ с ²
Теоретичне значення	$M_{TU}=7684$ с	$M_{TU}=64216$ с ²

В результаті розрахунку за виразами (22) та (23) встановлено що, відносна оцінка розбіжності експериментального та теоретичного значення математичного очікування тривалості доїння складає $M_v = 7.39$ %, а відносна оцінка розбіжності експериментального та теоретичного значення дисперсії тривалості доїння складає $D_v = 11.19$ %. Отримані значення відносної оцінки розбіжності свідчать про адекватність розробленої статистичної моделі.

6. Висновки

В даній роботі створено уточнені статистичні моделі, які встановлюють функціональний зв'язок між статистичними характеристиками тривалості роботи доїльної установки з паралельно-прохідними станками та доїльної установки «Тандем» з статистичними характеристиками часу підготовки тварини, статистичними характеристиками часу видоювання тварини, кількістю тварин, кількістю доїльних апаратів, типом доїльного апарату.

Запропоновані моделі створено на основі нового підходу до оцінки статистичних характеристик часу підготовки тварини та часу видоювання тварини. Це дозволить збільшити точність розрахунку продуктивності доїльних установок при їх проектуванні або модернізації, дозволить розробити методику проектування інформаційно-вимірювальних систем параметрів технологічного процесу отримання молока та систем автоматичного управління фермою, забезпечити подальший розвиток теорії таких систем.

Адекватність створених моделей підтверджена шляхом визначення відносної оцінки розбіжності між результатами теоретичних розрахунків та експериментальними даними. Окрім того, точність теоретичних розрахунків статистичних характеристик тривалості доїння більша, ніж при використанні інших методів. Так у роботах [1, 2] аналогічні показники доїльної установки наводяться з відносною розбіжністю 20–30 %

Література

1. Цой, Ю. А. Процессы и оборудование доильно-молочных отделений животноводческих ферм [Текст] / Ю. А. Цой. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2010. – 424 с.
2. Каталог продуктов и услуг ДеЛаваль [Текст]. – 2011. – 372 с.
3. Де Монмоллен, Н. Системы «человек-машина» [Текст] / Н. Де Монмоллен. – М.: Мир, 1973. – 256 с.
4. Тесленко, И. И. Расчет и технологический анализ этапов организации процессов доения [Текст] / И. И. Тесленко, И. И. Тесленко // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2012. – № 2(6). – С. 93–97.
5. Тареева, О. А. Потоки животных на конвейерных доильных установках и модель продолжительности выдаивания [Текст] / О. А. Тареева // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – 2011. – Т. 2, № 2(3). – С. 183–193.
6. Berry, D. P. Factors associated with milking characteristics in dairy cows [Text] / D. P. Berry, B. Coughlan, B. Enright, S. Coughlan, M. Burke // Journal of Dairy Science. – 2013. – Vol. 96, № 9. – P. 5943–5953. doi:10.3168/jds.2012-6162.
7. Edwards, J. P. Analysis of milking characteristics in New Zealand dairy cows [Text] / J. P. Edwards, J. G. Jago, N. Lopez-Villalobos // Journal of Dairy Science. – 2014. – Vol. 97, № 1. – P. 259–269. doi:10.3168/jds.2013-7051.
8. Кучерук, В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 1/3(67). – С. 4-7. – Режим доступу: \www/URL: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/20080.
9. Тареева, О. А. Алгоритмизация циклообразной работы конвейерной доильной установки [Текст] / О. А. Тареева // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. – 2011. – Т. 2, № 6(7). – С. 132–142.
10. Кучерук, В. Ю. Статистична модель тривалості машинного доїння на стійловій доїльній установці [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков, Т. В. Гнесь // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 2/4(68). – С. 31–37. – Режим доступу: \www/URL: http://journals.uran.ua/eejet/article/view/23120.
11. Кучерук, В. Ю. Статистичні моделі тривалості машинного доїння на групових доїльних установках [Текст] / В. Ю. Кучерук, Є. А. Паламарчук, П. І. Кулаков // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 4/4(70). – С. 13–17. doi:10.15587/1729-4061.2014.26287.
12. Билибин, Е. Б. Методические рекомендации по технологическому расчету доильных установок «Елочка» молочных ферм промышленного типа [Текст] / Е. Б. Билибин. – М.: ВИЭСХ, 1978. – 32 с.
13. Королюк, В. С. Справочник по теории вероятностей и математической статистике [Текст] : справочник / В. С. Королюк, Н. И. Портенко, А. В. Скороход, А. Ф. Турбин. – М.: Наука, 1985. – 640 с.